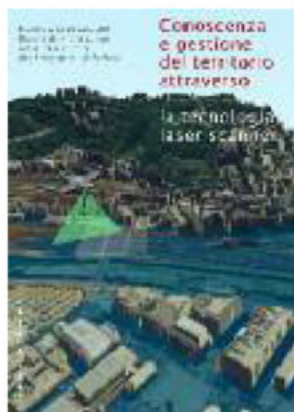


Monografie di GALILEO
Rivista di informazione
attualità e cultura
degli Ingegneri di Padova

Conoscenza e gestione del territorio attraverso

la tecnologia laser scanner





Anno XXV
Monografie
di *Galileo*
Supplemento
al n. 208
gennaio 2013

Copertina
Elaborazione LIDAR

Editore Collegio degli Ingegneri della Provincia di Padova, piazza G. Salvemini 2, 35131 Padova, tel-fax 0498756160, www.collegioingegneripadova.it, segreteria@collegioingegneripadova.it • **Direttore responsabile** Enzo Siviero, enzosiviero@partners.srl <info@esap.it> • **Condirettore** Pierantonio Barizza • **Vicedirettore** Michele Culatti • **Comitato di gestione** Gian Luigi Burlini, Stefano Casarotti-Todeschini, Ezio Miozzo, Giorgio Simioni, Enzo Siviero • **Comitato di redazione** Maria Elena Frusciante (Coordinatore), Lamberto Bertoli, Paolo Caporello, Paolo Foletto, Guglielmo Monti, Alessandro Stocco • **Impaginazione e redazione** Queen's Srl, via Zabarella 32, 35121 Padova, 049 8759328, 049 654749, 3296381117 redazione@galileo.191.it • **Sviluppo software edizione digitale** Luigi Parise • **Pubbliche relazioni** Giorgia Roviato, 0498070956, relazioniesternegalileo@gmail.com • **Stampa** La Photograph, via L. da Zara 8, 35020 Albignasego Pd, 049 8625690 • **Autorizzazione Tribunale di Padova** n. 1118 del 15 marzo 1989 • **Spedizione in abbonamento postale** 45%, art. 2, comma 20/b, legge 662/96, Filiale di Padova • **ISSN** 1122-9160 • **Avvertenze** La Direzione non si assume alcuna responsabilità per eventuali danni causati da informazioni errate. Gli articoli firmati esprimono solo l'opinione dell'autore e non impegnano in alcun modo né l'editore né la redazione • **Tutela della privacy** Qualora siano allegati alla rivista, o in essa contenuti, questionari oppure cartoline commerciali, si rende noto che i dati trasmessi verranno impiegati a scopo di indagine di mercato e di contatto commerciale, ex D.L. 123/97. Si informano gli abbonati che il loro indirizzo potrà essere impiegato anche per l'invio di altre riviste o di proposte commerciali. È diritto dell'interessato richiedere la cancellazione o la rettifica, ai sensi della L. 675/96 • **Norme generali e informazioni per gli autori** *Galileo* pubblica articoli di ingegneria, architettura, legislazione e normativa tecnica, attualità, redazionali promozionali. Viene inviato gratuitamente agli iscritti all'Ordine e al Collegio degli Ingegneri della provincia di Padova, nonché a persone, enti e istituzioni selezionati su tutto il territorio nazionale. Iscrizione annuale al Collegio, aperta anche ai non ingegneri: 35 € da versare sul c/c 473045, Banca di Credito Cooperativo di Sant'Elena, Agenzia Padova, IBAN IT59088431210000000473045. Gli articoli vanno inviati a: redazione@galileo.191.it. L'approvazione per la stampa spetta al Direttore che si riserva la facoltà di modificare il testo nella forma per uniformarlo alle caratteristiche e agli scopi della Rivista dandone informazione all'Autore. La proprietà letteraria e la responsabilità sono dell'Autore. Gli articoli accettati sono pubblicati gratuitamente purché non superino i cinquemila caratteri e le cinque illustrazioni. Per testi superiori viene richiesto un contributo spese da valutare volta per volta. I testi vanno forniti in formato elettronico WORD (.doc) non impaginato. Le immagini in formato digitale JPEG (.jpg) vanno fornite in file singoli separati dal testo: definizione 300 dpi e base max 21 cm. Bibliografia e note vanno riportate con numerazione progressiva seguendo l'ordine di citazione. Un breve curriculum professionale dell'autore (circa 60 parole) può essere inserito alla fine dell'articolo e comparirà nella stampa. Le bozze di stampa vanno restituite entro tre giorni dall'invio. Gli Autori possono ritirare gratuitamente tre copie della rivista presso il Collegio degli Ingegneri, ulteriori copie (2,50 € a copia) possono essere richieste a Segreteria del Collegio degli Ingegneri, tel-fax 0498756160, segreteria@collegioingegneripadova.it.

La conoscenza e gestione del territorio attraverso la tecnologia laser scanner

Contenuti

Conoscenza e gestione del territorio mediante tecnologie da remoto Enzo Siviero	4
CIRGEO Centro Interdipartimentale di Ricerca in Cartografia, Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT dell'Università di Padova Antonio Vettore, Alberto Guarnieri, Francesco Pirotti	6
Introduzione alla tecnologia Laser Scanner Francesco Pirotti	10
Elaborazione di dati LiDAR acquisiti mediante ALS Antonio Checchinato	12
Elaborazioni PAI <i>Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico</i> Verifica della congruità geometrica, topologica e morfologica delle perimetrazioni della pericolosità idraulica Federico Cazorzi, Giancarlo Dalla Fontana, Alberto De Luca Antonio Checchinato, Francesca Segna, Agostino Avanzi	14
Elaborazioni PAI <i>Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico</i> Estrapolazione dei principali parametri idrologici del reticolo idrografico secondario di aree alluvionali Federico Cazorzi, Giancarlo Dalla Fontana, Alberto De Luca Antonio Checchinato, Francesca Segna, Agostino Avanzi	16
Software open-source Federico Cazorzi, Alberto De Luca, Paola Bonato Agostino Avanzi, Francesco Pirotti	18
Applicazioni sull'utilizzo di modelli digitali La definizione della linea di costa mediante dati LiDAR Giancarlo Dalla Fontana	24
Provincia Autonoma di Trento Classificazione del reticolo idrografico in formato vettoriale a partire dal modello digitale del terreno ad alta risoluzione Federico Cazorzi, Francesca Segna, Corinne Menardo	26
Provincia Autonoma di Trento Depittaggio e ricondizionamento di DTM da dati LiDAR per l'aggiornamento dei tematismi territoriali Federico Cazorzi, Fabrizio De Blasi	28



La conoscenza e gestione del territorio mediante tecnologie da remoto

Enzo Siviero

Questa monografia di *Galileo*, dedicata alla tecnologia di telerilevamento *LiDAR* (*Light Detection And Ranging*), è in stretta relazione con il tema ormai quotidiano del rischio idrogeologico che, nel nostro Paese, è estremamente complesso e articolato soprattutto in base al contesto territoriale, alla geografia e alla morfologia dei luoghi nonché in riferimento al grado di trasformazione antropica del territorio. Negli ultimi anni il panorama dei sistemi di telerilevamento si è notevolmente arricchito con l'introduzione e l'affinamento delle tecnologie riguardanti il *laser scanning* in grado di acquisire informazioni tridimensionali sul territorio con elevata precisione submetrica. Tale tecnologia si inserisce dunque nel quadro delle tecniche per il rilievo a distanza del territorio. Più in particolare, insieme alla famiglia dei *radar*, costituisce un sistema di telerilevamento attivo per il fatto che le superfici sono rilevate attraverso l'impiego di energia luminosa emessa direttamente dal sensore. Il principale punto di forza del *LiDAR*, che nello stesso tempo ne costituisce un elemento di elevata originalità rispetto al telerilevamento classico, consiste nella capacità di restituire in modo tridimensionale gli elementi presenti sulla superficie terrestre, naturali e antropici. L'obiettivo di tale tecnologia è quello di rendere, il più celermente possibile, una base dati per il supporto ai processi decisionali in tutte le aree soggette al rischio del dissesto idrogeologico e non. Le basi dati realizzate rappresentano un valido contributo alle attività di governo del territorio, supportando in particolare le attività di topografia, cartografia e fotogrammetria numerica, la modellistica tridimensionale, i Sistemi Informativi Territoriali e, soprattutto, i Sistemi Informativi di Supporto alle decisioni di chi governa il territorio e lo deve salvaguardare.

L'affinamento e la continua innovazione ed evoluzione tecnologica che hanno interessato tale applicazione sono garanzia di prodotti altamente qualificati, finalizzati a risolvere le diverse problematiche nei campi dell'ingegneria civile, edile e meccanica, nei campi dell'architettura, dell'archeologia, della pianificazione urbana e della pianificazione territoriale. Per gestire efficacemente un territorio occorre conoscerlo: partendo da questo presupposto sono state sviluppate strategie modulari e interdisciplinari per costruire strumenti utili e indispensabili alla tutela, gestione, pianificazione, progettazione e valorizzazione.

I beni ambientali, culturali e paesaggistici rappresentano per la pianificazione territoriale invarianti strutturali, cioè elementi del territorio che non possono essere distrutti o alterati e che devono necessariamente essere riprodotti fedelmente per mantenerne intatte le geometrie in fase di progettazione. Per rendere efficace la pianificazione territoriale occorre valutare tali elementi e renderli parte integrante dei processi atti a definire la fattibilità tecnica ed economica di una trasformazione del territorio.

Le nuove tecnologie offrono quindi efficaci opportunità per ridurre l'indeterminatezza nei processi di valutazione della presenza di elementi sensibili in aree oggetto di trasformazione. Attraverso l'impiego di metodi tradizionali affiancati alla più innovativa tecnologia *LiDAR* si potranno conseguire risultati affidabili ed efficaci per ogni tipo di esigenza e in ogni settore dell'ingegneria e dell'architettura. •

L'affinamento e la continua innovazione ed evoluzione tecnologica che hanno interessato tale applicazione sono garanzia di prodotti altamente qualificati, finalizzati a risolvere le diverse problematiche nei campi dell'ingegneria civile, edile e meccanica, nei campi dell'architettura, dell'archeologia, della pianificazione urbana e della pianificazione territoriale

Gli Autori

Agostino Avanzi

Laureato in Ingegneria Civile Idraulica con specializzazione in modellistica idrologica e idraulica presso l'Università degli Studi di Padova nel 2006, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Padova nel 2007 (matr. n. 4897). Attualmente si occupa di servizi di post-elaborazione di dati *LiDAR* e di progettazione di *software* finalizzati al monitoraggio dell'impatto ambientale dovuto a interventi antropici presso BETA Studio Srl.

Paola Bonato

Laureata in Scienze Forestali e Ambientali presso l'Università degli Studi di Padova nel 2007, abilitata all'esercizio della professione di Dottore Forestale nel 2008 e iscritta all'ordine dei Dottori Agronomi e Forestali della Provincia di Vicenza (matr. n. 354). Dal 2009 si occupa di GIS e programmazione presso Geomatica e Ambiente Srl.

Federico Cazorzi

Laureato in Scienze Forestali presso la Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Padova nel 1983 e abilitato all'esercizio della professione di Dottore Forestale dal 1983. Tra il 1984 e il 1990 è vincitore di varie borse di studio presso la Purdue University e l'*Hydrological Engineering Center* di Davis negli Stati Uniti. Dal 1990 è ricercatore universitario presso il Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università degli Studi di Padova e dal 2001 è professore associato presso la Facoltà di Agraria di Udine. Dal 2007 è inoltre co-fondatore della società Geomatica e Ambiente Srl, *spin-off* accademico dell'Università degli Studi di Padova del quale è presidente del consiglio di amministrazione.

Antonio Checchinato

Laureato in Tutela e Riassetto del Territorio presso l'Università degli Studi di Padova nel 2008. Dal 2008 si occupa di GIS e di trattamento di dati *LiDAR* presso Geomatica e Ambiente Srl.

Salvatore Costabile

Dottore di Ricerca in Geofisica e Vulcanologia attualmente Direttore dei Lavori presso Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale per la Tutela del Territorio e delle Risorse Idriche (TRI) e responsabile tecnico del Geoportale Nazionale. Esperto per l'attuazione del Piano Straordinario di Telerilevamento per le Aree a Elevato Rischio Idrogeologico art. 27 della legge 179/2002, Direttore dei Lavori del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A), Direttore dei lavori per il Progetto Monitoraggio dell'Impatto Ambientale dovuto a Reati Ambientali. Pon Sicurezza, Programma Operativo Nazionale FESR Sicurezza per lo Sviluppo, Obiettivo Convergenza 2007-2013".

Giancarlo Dalla Fontana

Laureato con lode in Scienze Forestali all'Università degli Studi di Padova nel 1981, borsista CNR presso l'Università of Strathclyde a Glasgow nel 1982, ricercatore all'Università degli Studi di Padova nel 1983 e professore associato all'Università di Udine nel 1987. Dal 1990 lavora al Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TeSAF) dell'Università degli Studi di Padova dove dal 2000 è professore ordinario e attualmente titolare di più insegnamenti per il settore disciplinare Idraulica Agraria e Sistemazioni Idraulico-Forestali. Nel 2007 è tra i soci fondatori della società Geomatica e Ambiente Srl, *spin-off* accademico dell'Università degli Studi di Padova del quale è socio attivo.

Fabrizio De Blasi

Laureato in Scienze Forestali e Ambientali presso l'Università degli Studi di Padova nel 2010. Dal 2010 si occupa di GIS e idrologia presso Geomatica e Ambiente Srl.

Alberto De Luca

Laureato in Scienze e Tecnologie Agrarie a indirizzo Ambientale presso l'Università degli Studi di Udine. *Master of Science in Geographical Information Management* presso l'Università di Cranfield (UK). Attualmente si occupa di GIS, sviluppo *software* e svolge ruolo di coordinamento presso Geomatica e Ambiente Srl.

Sergio Fattorelli

Laureato in Ingegneria Civile Idraulica nel 1968 presso l'Università degli Studi di Padova con specializzazione in pianificazione e gestione delle risorse idriche, gestione dei bacini idrografici, modellistica idrologica e idraulica, GIS, sistemi di monitoraggio ambientale, approvvigionamento idrico, bonifica, valutazione e mitigazione dei disastri idrogeologici. Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Padova (matr. n. 657). Dal 1980 al 2011 è stato Professore Ordinario di Pianificazione e Gestione delle Risorse Idriche presso la Facoltà di Scienze Agrarie, Forestali ed Ambientali dell'Università degli Studi di Padova. Dal 1980 è Presidente del Consiglio di Amministrazione, Legale rappresentante e Direttore generale presso BETA Studio Srl.

Alberto Guarnieri

Laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Padova, attualmente svolge attività di ricercatore presso il Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università degli Studi di Padova. Si occupa prevalentemente dello sviluppo di sistemi di *mobile mapping* a basso costo e di applicazioni del *laser scanner* terrestre nell'ambito della gestione del territorio e dei beni culturali. È autore di diversi articoli pubblicati su riviste scientifiche internazionali e nazionali.

Corinne Menardo

Laureata in Diritto dell'Economia presso l'Università degli Studi di Padova nel 2004 e in Tutela e Riassetto del Territorio presso l'Università degli Studi di Padova nel 2010. Dal 2010 si occupa di trattamento di dati *LiDAR*, di GIS e idrologia presso Geomatica e Ambiente Srl.

Francesco Pirotti

Laureato in Scienze Forestali e Ambientali presso l'Università degli Studi di Padova con tesi presso la *University of California at Berkeley*, dopo il dottorato di ricerca in Telerilevamento per la Rappresentazione del Territorio è attualmente ricercatore presso il Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università degli Studi di Padova. Si occupa prevalentemente di metodi di analisi del dato *LiDAR* discreto e a forma d'onda per applicazioni forestali e ambientali. È autore di diversi articoli pubblicati su riviste scientifiche internazionali e nazionali.

Francesca Segna

Laureata in Scienze Forestali e Ambientali presso l'Università degli Studi di Padova nel 2007, abilitata all'esercizio della professione di Dottore Forestale nell'anno 2009 e iscritta all'ordine dei Dottori Agronomi e Forestali della Provincia di Padova (matr. n. 636F). Dal 2009 si occupa di GIS e idrologia presso Geomatica e Ambiente Srl.

Antonio Vettore

Laureato in Ingegneria edile all'Università degli Studi di Padova nel 1976 e Dottore di Ricerca in Scienze Geodetiche e Topografiche all'Università di Bologna nel 1987. Borsa di Studio NATO-CNR Laboratorio di Statistica teorica e applicata dell'Università M. Curie di Parigi (1990). Professore associato di Topografia dal 1987 presso l'Università di Padova dal 1991 e docente di Topografia e Fotogrammetria rispettivamente presso le Facoltà di Agraria e Ingegneria. Idoneità a professore ordinario conseguita nel febbraio del 2002.

CIRGEO

**Centro Interdipartimentale di Ricerca
in Cartografia, Fotogrammetria,
Telerilevamento e SIT
dell'Università di Padova**

**Antonio Vettore
Alberto Guarnieri
Francesco Pirotti**

CIRGEO, Centro Interdipartimentale di Ricerca in Cartografia Fotogrammetria Rilevamento e SIT, dal 1999 opera nel campo della misurazione e della rappresentazione delle caratteristiche del territorio e nell'elaborazione di dati acquisiti mediante sensori remoti



Ringraziamenti

Si ringrazia il CIRGEO, Centro Interdipartimentale di Ricerca in Cartografia, Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT dell'Università degli Studi di Padova. Si ringraziano inoltre l'ing. Marco Pontin, l'ing. Nicola Milan e il dott. Paolo Tarolli per il supporto fornito nell'ambito dei rilievi eseguiti mediante strumentazione laser scanner terrestre.

CIRGEO, Centro Interdipartimentale di Ricerca in Cartografia, Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT, nasce nel 1999 con l'intento di rappresentare un centro di aggregazione per le attività di ricerca legate alla gestione del territorio svolte dall'Università degli Studi di Padova. Al Centro di Ricerca afferiscono docenti e ricercatori dei dipartimenti Territorio e Sistemi Agroforestali, Agronomia e Produzioni Vegetali, Ingegneria Idraulica, Marittima e Geotecnica, Elettronica e Informatica e Scienze dell'Antichità. Vengono inoltre attuati progetti di collaborazione con università esterne.

CIRGEO opera nel campo della misurazione e rappresentazione delle caratteristiche del territorio mediante sensori remoti ed elaborazione dati ai fini del monitoraggio dell'ambiente e della rappresentazione del territorio. Tra le attività principali vi è lo sviluppo di metodologie innovative nell'ambito delle procedure di acquisizione ed elaborazione di dati territoriali in formato digitale. Tali procedure rappresentano attività fondamentali per la produzione di contenuti informativi utili per qualsiasi attività di gestione del territorio e dei beni in esso presenti.

Tra le attività di CIRGEO vi è anche lo sviluppo di sistemi di rilevamento mobile *MMS (Mobile Mapping System)* basati sia su piattaforma terrestre (veicolo ruotato, van) sia aerea *UAV (Unmanned Aerial Vehicle)* e l'applicazione della tecnologia *laser scanner* terrestre e aerea per il rilevamento del territorio con particolare riguardo ai settori dell'Ingegneria Civile, Idraulica, Scienze Forestali Architettura e Beni Culturali. Vengono inoltre realizzate applicazioni *Open GIS* e vengono svolte attività di ricerca sul telerilevamento satellitare (*Remote Sensing*).

CIRGEO è impegnato anche in attività di formazione promuovendo corsi di formazione, di aggiornamento e perfezionamento rivolti a liberi professionisti, personale tecnico impiegato nel settore pubblico e privato, laureandi, neo-laureati, dottorandi e ricercatori su introduzione all'uso base ed avanzato dei *software GIS*, geostatistica, *Open GIS (AdB-ToolBox)* e *web GIS*, uso di strumentazioni *GPS*, *laser scanner* aereo (*ALS*) e terrestre (*TLS*). Inoltre, CIRGEO promuove la divulgazione scientifica nei settori della Geomatica, della Cartografia e Fotogrammetria organizzando e ospitando seminari, convegni e *workshop* nazionali e internazionali tra gruppi di lavoro (*Italy-Canada Workshop on 3D digital imaging and modeling applications of: heritage, industry, medicine & land* negli anni 2001 e 2005; *5th Int. Symposium on Mobile Mapping Technology* nell'anno 2007; *GIS Day*) al fine di porre studenti e figure professionali a contatto con l'ambiente della ricerca universitaria, creando momenti di confronto tra università e ricerca e settore privato.

Strumentazioni a disposizione di CIRGEO

Sistemi *laser scanner* terrestri di tipo *close range* e strumenti a triangolazione ottica per scansioni *laser* di piccoli oggetti a distanze fino a pochi metri e con precisione sub-millimetrica: *Vitana Shapegrabber*, *NextEngine3d Desktop Scanner*.

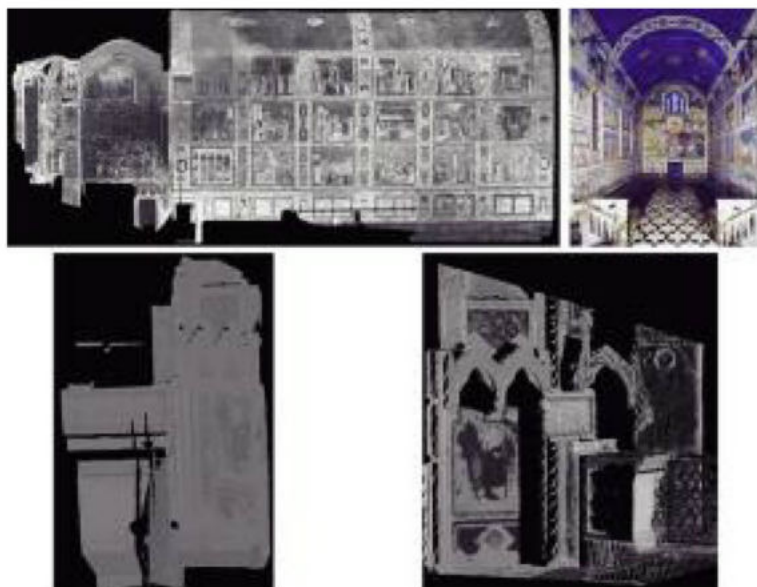
Sistemi *laser scanner* terrestri *medium range* e *long range* a tempo di volo per acquisizione dati su distanze operative entro i due chilometri e con precisione centimetrica e sub-centimetrica: *Leica HDS 3000*, *Riegl LMS-Z620*; Stazione permanente *GPS* inserita nella rete *ITALPOS* di Leica-Italia; Strumentazioni *GPS*, *total-station* e camere digitali; Pacchetti *software* commerciali per il trattamento dati: *Innovmetric Polyworks*, *Raindrop Geomagic Studio*, *Inus Technology Rapidform*, *Leica Cyclone*, *Riegl Riscan Pro*, *Rhino*, *Terrasolid Terrascan*, *AutoCAD*, *Bentley Microstation*.

Modellazione della Cappella degli Scrovegni, Padova

La Cappella degli Scrovegni si trova nel centro storico di Padova e ospita un ciclo di affreschi di Giotto risalente all'inizio del XIV secolo e considerato uno dei capolavori dell'arte occidentale.

Nella Cappella degli Scrovegni è stato eseguito un ciclo di rilievi allo scopo di studiare le prestazioni di differenti *laser scanner* nel rilievo di una struttura di importanza storico-culturale caratterizzata da pareti affrescate.

Per i rilievi sono stati utilizzati differenti strumenti *TLS* (*Leica HDS 2500* al 15%, *Mensi GS 100* al 70%, *Optech ILRIS 3D* al 5%, *Riegl LMS-Z210* al 5%) mentre per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato utilizzato il software *Innovmetric Polyworks*.



Collaudo del ponte di Lago Corlo, Belluno

I rilievi eseguiti sul ponte di Lago Corlo, Belluno, hanno verificato la possibilità di rilevare con *TLS* le flessioni di un ponte stradale durante la fase di collaudo.

La metodologia d'indagine ha previsto un rilievo della superficie laterale del ponte con *TLS* e successiva misura delle variazioni superficiali della *mesh* tra le fasi di carico e scarico; è stato poi eseguito il confronto tra le misure di rilevazione.

Nel corso dei rilievi mediante *TLS* è stato impiegato uno strumento *Leica HDS 3000* mentre il trattamento dei dati è stato eseguito con i software *Leica Cyclone* in fase di acquisizione e *Innovmetric Polyworks* in fase di elaborazione.

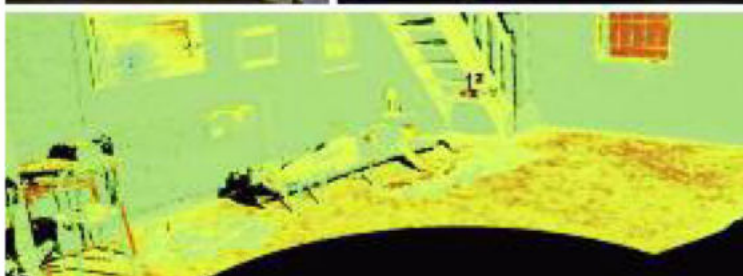
Al termine delle elaborazioni i valori ottenuti in termini di deflessioni superficiali sono risultati in accordo con le misure di livellazione nella zona della struttura con freccia massima mentre nelle altre zone le variazioni rilevate con livellazione hanno presentato valori confrontabili con il rumore di misura *laser* e quindi non rilevabili.

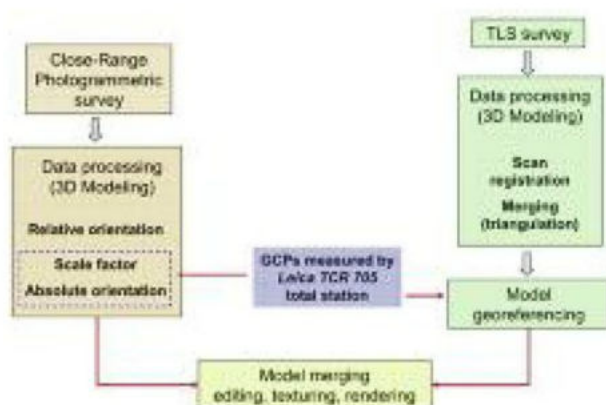
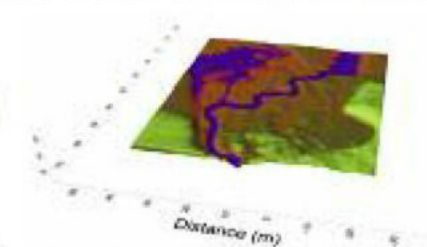
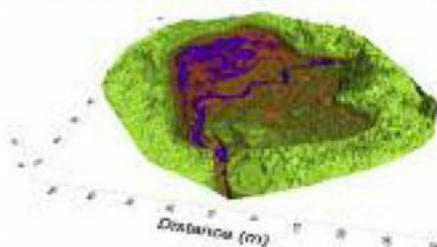
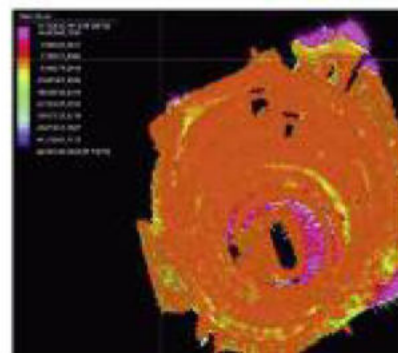
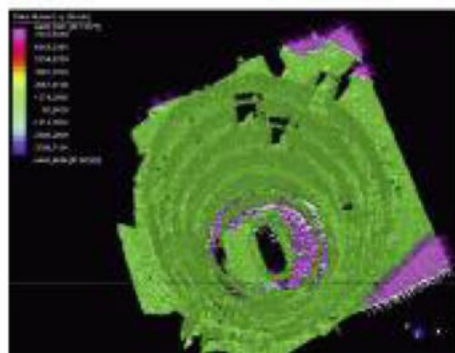
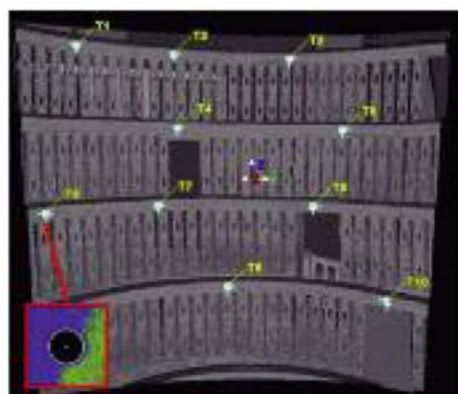
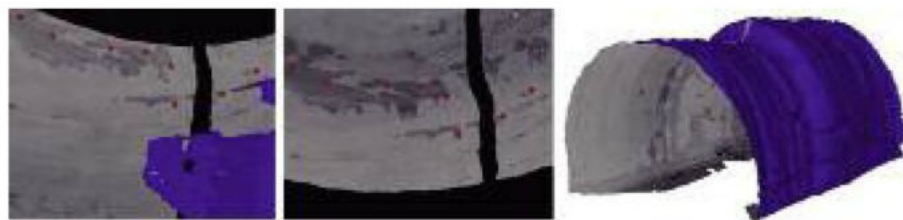


TLS per la rilevazione di scene del crimine

Grazie a questa esperienza di rilevazione è stata valutata la potenzialità del *laser scanner* terrestre nella rilevazione di scene del crimine e per la ricostruzione 3D di una scena del delitto, utilizzando un modello 3D come supporto alle indagini.

Il rilievo *laser scanner* è stato eseguito con uno strumento *Leica HDS 3000* mentre per le elaborazioni sono stati utilizzati i software *Innovmetric Polyworks* e *Leica Cyclone*.





Rilievo con TLS di galleria stradale

L'esperienza di rilievo di galleria stradale con *TLS* ha rappresentato la prima esperienza effettuata dal CIRGEO con *laser scanner* terrestre di tipo *long-range*.

Lo strumento utilizzato è stato un *Riegl LMS-Z210* mentre i dati sono stati elaborati con il software *Innovmetric Polyworks*.

L'obiettivo principale di questa esperienza è stato quello di valutare le difficoltà insite nella modellazione di una struttura caratterizzata da uno sviluppo prevalentemente longitudinale, ponendo particolare attenzione alla fase di allineamento delle scansioni in assenza di vincoli esterni.

Controllo di stabilità su struttura lignea, Teatro Anatomico di Padova

Il teatro anatomico di Padova, ancora perfettamente conservato e visitabile presso il Palazzo del Bo, è il più antico teatro anatomico stabile al mondo. Obiettivo dei rilievi eseguiti è stato quello di valutare l'efficacia della strumentazione *laser scanner* per il controllo della stabilità di strutture lignee.

Il grado di stabilità è stato valutato mediante confronto dei valori di scostamento verticale ottenuti da misure *TLS* e *TS*, sui medesimi *target*, in tempi successivi; è stato inoltre utilizzato un modello 3D *laser* come base dati per analisi agli elementi finiti. Per i rilievi è stato utilizzato un *TLS Leica HDS 3000* e le elaborazioni sui dati acquisiti sono state eseguite con i software *Cyclone* (acquisizione, registrazione), *Geomagic* (creazione *mesh*), *AutoCAD* (modellazione), *3D Studio Max* (rendering), *Stratus* (analisi FEM).

Rilievo di barene nella laguna di Venezia

I rilievi eseguiti nelle barene della laguna di Venezia hanno avuto lo scopo di sviluppare metodi di filtraggio di dati da *laser scanner* terrestre per la produzione di *DTM* delle barene in presenza di bassa vegetazione.

Nelle aree oggetto di rilievo sono stati eseguiti rilievi con *TLS (Leica HDS 3000)* sui quali nella successiva fase di elaborazione sono stati sviluppati e testati differenti metodi di filtraggio della vegetazione con l'ausilio di software quali *Leica Cyclone* in fase di acquisizione dati, e *Matlab* in fase di elaborazione dati e *testing* dei metodi di filtraggio.

Modellazione di Villa Giovannelli Padova

Villa Giovannelli, situata a Noventa Padovana in provincia di Padova, è stata costruita negli ultimi anni del Seicento per conto della famiglia patrizia veneziana dei Giovanelli e rappresenta un ritorno allo stile palladiano in epoca barocca.

Le rilevazioni eseguite sulla villa hanno combinato tra loro, nel modo più opportuno, la fotogrammetria digitale e la tecnica *laser scanning* per realizzare un modello 3D completo di una struttura a valenza storica in modo da sfruttare le peculiarità di entrambe le tecniche di rilevamento.

Il metodo di lavoro ha previsto l'esecuzione di un rilievo *laser scanner* e fotogrammetrico della villa e la creazione di un modello 3D globale costituito sia da parti derivate dal modello fotogrammetrico che da parti ottenute dal rilievo *laser*.

Sono stati utilizzati un *LS Leica HDS 3000* e una camera digitale *Casio Exilim 750* (7.2 Mpx). Le elaborazioni sono state eseguite con i software *Innovmetric Polyworks* per la parte relativa ai dati *laser*, *Photomodeler* per la parte relativa alla fotogrammetria e *Rhino* per la fusione dei modelli.

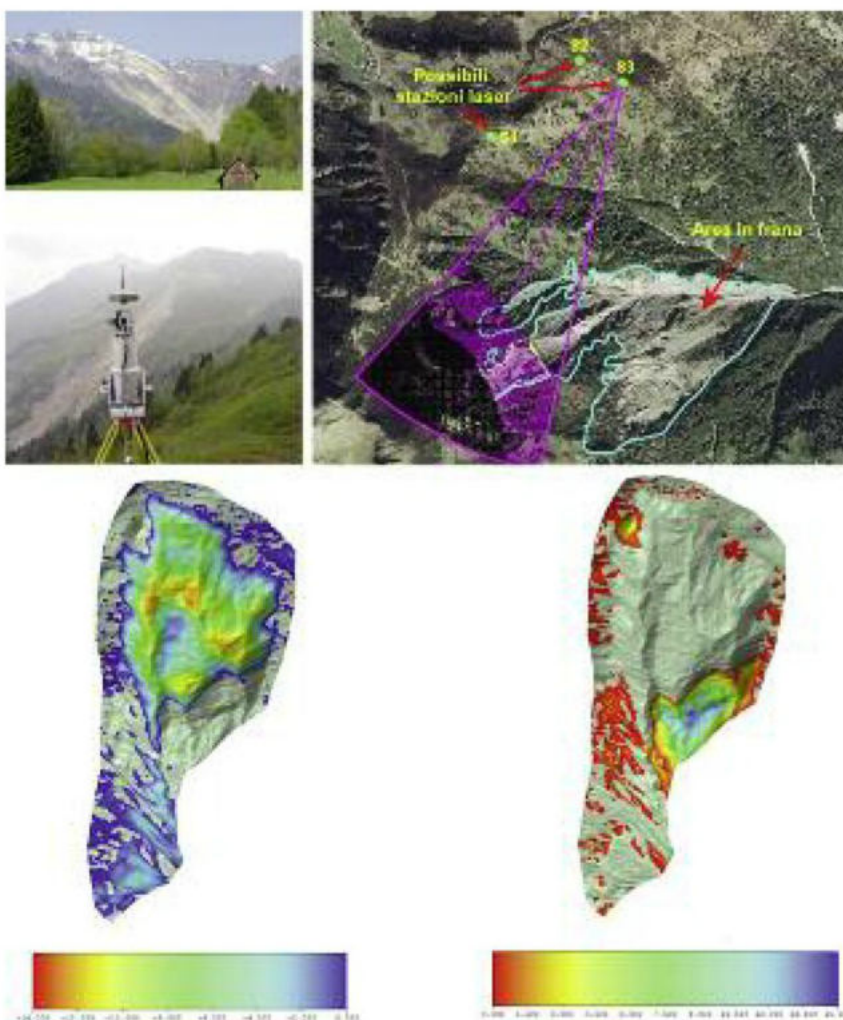


Rilievo con TLS della frana nel bacino del Miozza, Udine

Tra gli obiettivi del rilievo *TLS* eseguito sulla frana presente nel bacino del Miozza vi è stato il calcolo del volume di materiale detritico coinvolto nella riattivazione della frana di considerevoli dimensioni verificatasi nel 2004.

Il calcolo del volume di materiale detritico è stato eseguito confrontando il *DTM* derivante da dati acquisiti con rilievo *LiDAR ALS*, eseguito nel 2003 (pre-evento), con misure *TLS* eseguite invece nella primavera dell'anno 2008 (post-evento).

Il *TLS* utilizzato è stato il *Riegl Z620* mentre per le elaborazioni è stato utilizzato il software *Riegl Riscan Pro*.



Il laser scanner dimostra la sua grande utilità in molteplici applicazioni in quanto, grazie all'alta densità di punti acquisiti in tempi brevissimi rispetto ai comuni sistemi di rilievo è possibile ottenere informazioni ad alta e altissima risoluzione

Parole chiave

LiDAR, laser scanner, ALS, TLS

Ringraziamenti

Si ringrazia il CIRGEO, Centro Interdipartimentale di Ricerca in Cartografia, Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT dell'Università degli Studi di Padova per il supporto e l'utilizzo dell'immagine relativa al TLS

Il *laser scanning* (LiDAR, *Light Detection and Ranging*) è una tecnologia di telerilevamento che utilizza sensori ottici definiti *attivi* in quanto emettono impulsi *laser* (i.e. energia elettromagnetica sotto forma di luce strutturata) a lunghezza d'onda solitamente corrispondente all'infrarosso vicino (1064 nm) ma che può variare a seconda del modello del sensore. Gli impulsi vengono riflessi dalle superfici intercettate lungo il percorso e registrati da un ricevitore sensibile all'energia elettromagnetica (EEM) di questi ritorni (anche denominati *echi* dell'impulso). Questa tecnologia dimostra la sua grande utilità in molteplici applicazioni in quanto, grazie all'alta densità di punti acquisiti in tempi brevissimi – rispetto ai comuni sistemi di rilievo – è possibile ottenere informazioni ad alta e altissima risoluzione. Con i moderni sensori *laser scanner* montati su aeromobile (ALS, *Aerial Laser Scanner*) è possibile registrare qualche migliaia di punti ogni secondo, con un prodotto finale di milioni di punti; in aggiunta sono disponibili anche rilievi *laser* eseguiti con sensori a terra (TLS, *Terrestrial Laser Scanner*) che forniscono scale di rilievo differenti dai precedenti e richiedono tecniche di post-elaborazione diverse. La dimensione del fascio *laser* emesso può variare in funzione del sensore utilizzato e delle impostazioni di chi pianifica il rilievo.

Viene utilizzato, solitamente, un fascio di luce con diametro di alcuni centimetri fino a qualche decina di centimetri, il quale, nell'intercettare oggetti lungo il proprio tragitto, causa uno o più echi. Ciascuno di questi viene identificato, mediante elaborazioni interne al sensore o in post elaborazione, come un singolo punto nello spazio.

Il prodotto finale che si ottiene è una nuvola di punti distribuiti in modo irregolare che fornisce una rappresentazione accurata della geometria del territorio. Le coordinate 3D dei singoli punti rilevati (X_i, Y_i, Z_i) vengono determinate con un calcolo che utilizza il vettore di direzione del *laser* e la distanza D del punto dal sensore. Il vettore di direzione e la posizione del sensore, nel caso di rilievo ALS, vengono stimati grazie agli strumenti di posizione e orientamento (DGPS, *Differential Global Positioning System* e IMU, *Inertial Measurement Units*) a bordo del veicolo; nel caso di rilievo TLS, dal DGPS e dalla strumentazione interna che fornisce gli angoli dell'ottica. La distanza D invece viene calcolata misurando il tempo di volo (TOF, *Time Of Flight*), ovvero il tempo Δt che intercorre dall'emissione dell'impulso dal sensore alla ricezione, da parte dello stesso, del segnale di ritorno. Per ricavare la distanza D di un punto rilevato si utilizza la formula seguente:

$$D = \frac{\Delta t \cdot c}{2}$$

dove:

Δt rappresenta il tempo di volo;

c la velocità di propagazione del segnale nell'aria.

A ogni punto possono essere inoltre associate altre informazioni come il valore dell'intensità dell'impulso di ritorno – valore che dipende anche dalla composizione della superficie che ha generato il ritorno, la classe di appartenenza – valore che assegna al punto una classe definita dalle elaborazioni (e.g. terreno, edifici, vegetazione) e altre informazioni complementari, come il numero della strisciata o l'angolo di ripresa (queste ultime nel caso specifico di ALS).

I dati rilevati tramite *laser scanner* vengono memorizzati in colonne nei formati di testo o in formati binari dedicati. Il formato testo (ASCII) permette di ottenere dati facilmente accessibili anche con comuni lettori di testo, ma ha lo svantaggio di creare file di dimensioni notevoli per la memorizzazione. Il formato binario invece richiede applicativi specifici per la lettura dei file, ma fornisce prestazioni migliori in fase di elaborazione e richiede minor spazio per l'archiviazione.

Esistono diversi formati binari proprietari realizzati ad hoc per i singoli software che trattano dati LiDAR, che purtroppo non forniscono un buon livello di interoperabilità; questa caratteristica invece viene fornita dal formato aperto denominato LAS (*LASer Data Interchange Format*) implementato dall'ASPRS (*American*

Society for Photogrammetry and Remote Sensing). Tale formato è particolarmente adatto allo storage di grandi quantità di dati spaziali derivanti da rilievi *laser scanner*, sia grezzi che classificati.

I costi da affrontare per ottenere modelli digitali da rilievi con *laser scanner* sono costituiti, sia per i rilievi eseguiti con *ALS* che per quelli con *TLS*, dai costi per il trasferimento della strumentazione e del personale operante nell'area di rilievo, dai costi per l'esecuzione del rilievo stesso (particolarmente gravosi per quanto riguarda i rilievi eseguiti con *ALS* a causa dei costi di esercizio degli aeromobili) e dai costi necessari all'elaborazione e al post processamento dei dati rilevati per l'ottenimento dei modelli digitali dell'elevazione finali.

I costi per lo spostamento della strumentazione nel sito d'interesse possono incidere significativamente quando questo è lontano dalla base dell'operatore, mentre, mediamente, i costi dell'elaborazioni sono costanti e dipendono fondamentalmente dalla dimensione del sito e dal numero di punti da elaborare.

Rilievi LiDAR da aeromobile (ALS)

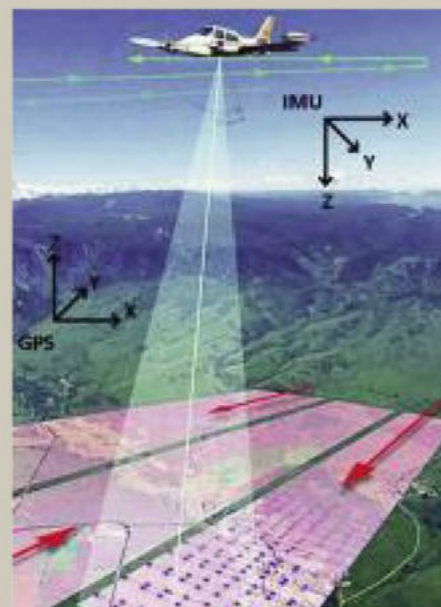
Nei rilievi eseguiti con *laser scanner* posizionato su aeromobile i dati vengono rilevati utilizzando un sensore ubicato generalmente su aereo o elicottero. Il sensore, considerata la natura del mezzo di trasporto, risulta essere in movimento e sarà quindi necessario integrare informazioni da sensori di posizione e orientamento (*DGPS* e *IMU*) che permettono di registrare i dati in un sistema di riferimento cartografico grazie alla posizione e all'accelerazione angolare del sistema piattaforma-sensore rilevati ad alta frequenza temporale.

La posizione dei punti viene quindi determinata utilizzando le suddette informazioni insieme al tempo di volo (*TOF*) dell'impulso. La dimensione dell'impronta a terra rilevata può essere di piccole dimensioni (nell'ordine dei centimetri) o di elevate dimensioni (nell'ordine di metri) in funzione del tipo di sensore, della quota relativa di volo e dell'angolo di incidenza rispetto alla superficie rilevata. In commercio si trovano sensori discreti che forniscono un numero definito di ritorni intermedi, oppure sensori *full waveform* (*FW*) che registrano, mediante campionamento con risoluzione temporale molto elevata (e.g. 1 ns), tutto l'impulso di ritorno, in modo da generare un'alta definizione della risposta degli oggetti che il fascio di luce ha intercettato nel suo percorso. Generalmente l'area da rilevare viene coperta con voli eseguiti con andamento bistrofedico e con una sovrapposizione tra strisciate, necessaria per la co-registrazione tra strisciate. Per ogni passaggio viene restituita una striscia contenente una nuvola di punti *LiDAR* grezzi e, al termine delle operazioni di rilievo di un'intera area, anche un file in formato *.sbt* (*Smoothed Best Estimate of Trajectory*) contenente le traiettorie di volo integrali e le relative informazioni riguardanti l'intera sessione di volo.

Rilievi LiDAR terrestri (TLS)

Nei sistemi *laser scanner* terrestri (*TLS*) una campagna di rilievo implica la sistemazione di uno o più punti stazione al fine di coprire in modo completo il sito di interesse. Esistono sistemi avanzati che permettono il posizionamento del sensore su mezzi in movimento (*Mobile Mapping Technologies*) come, ad esempio, *van* o mezzi ubicati sulle rotaie ferroviarie. La distanza tra il sensore e l'area o l'oggetto di rilevazione determina in modo inversamente proporzionale la densità di punti ottenuta; si rende pertanto necessario individuare più stazioni di rilievo che devono essere georeferite in un sistema cartografico mediante l'utilizzo di ricevitori *GPS* o di sistemi teodolite/stazione totale che si appoggiano in planimetria a punti di coordinate note. Punti di controllo, identificabili nel rilievo *TLS* grazie alla loro particolare riflettanza o a caratteristiche geometriche, permettono di registrare tra loro rilievi da stazioni diverse.

In assenza di oggetti idonei allo scopo si possono utilizzare elementi artificiali *ad hoc*, detti *targets*, introdotti appositamente nell'area di rilievo. Il *TLS* per il rilievo architettonico e del territorio utilizza solitamente il metodo *TOF* per misurare la distanza sensore-oggetto, mentre gli angoli di direzione orizzontale e verticale dell'impulso vengono determinati grazie a un'alidada integrato nello strumento. Alcuni modelli di sensori *TLS* utilizzano, per definire la coordinata del punto, il calcolo della differenza di fase dell'onda portante, o, altri ancora la triangolazione di luce. Questi due tipi di sensori hanno lo svantaggio di una minore portata massima (~150 m e ~1 m rispettivamente) e il vantaggio di una precisione molto elevata (~2 mm e ~10 µm rispettivamente). •



1. Schema esemplificativo di rilevazione mediante sensore *laser scanner* montato su aeromobile



2. Rilievo in campo mediante *laser scanner* terrestre montato su tripode creato *ad hoc* (fonte CIRGEO)

Elaborazione di dati *LiDAR* acquisiti mediante ALS

Antonio Checchinato

Dalla nuvola di punti rilevati mediante sensori laser scanner si possono ottenere modelli digitali del terreno e della superficie terrestre ad alta e altissima risoluzione

Nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, e della sua successiva estensione, BETA Studio Srl e Geomatica e Ambiente Srl hanno post-processato nuvole di punti *LiDAR* rilevate da sensori laser scanner posizionati su aeromobile (ALS), al fine di fornire una copertura di modelli digitali del terreno e della superficie terrestre per le coste italiane (per una fascia di circa 800 metri verso l'entroterra con griglie aventi risoluzione 2x2 metri) e per aste fluviali e aree di rilevanza idrogeologica (con griglie di risoluzione 1x1 metro) distribuite sul territorio italiano

Parole chiave

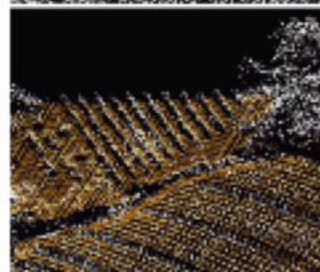
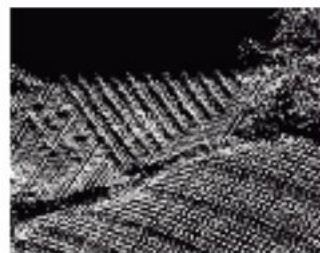
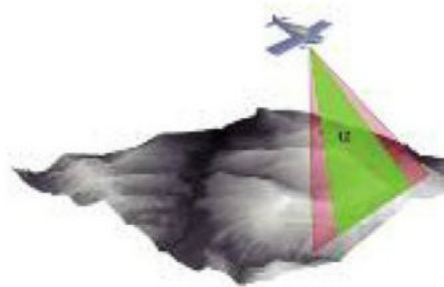
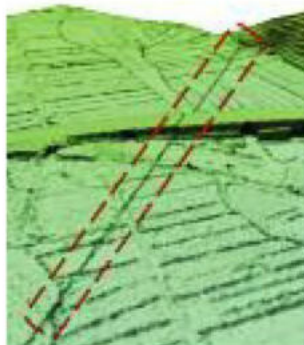
LiDAR, ALS, dato *LiDAR* grezzo
elaborazione dati *LiDAR*, DTM
DSM, DBM, DCM, breaklines

Elaborazione di dati *LiDAR* per l'ottenimento di modelli digitali dell'elevazione

Le nuvole di punti *LiDAR* rilevate vengono classificate ponendo in classi predeterminate i punti che descrivono particolari caratteristiche a terra: i punti che intercettano il terreno vengono posti in una classe denominata *Ground* e in seguito, tramite interpolazione delle quote dei punti presenti in tale classe, si ottiene un modello digitale del terreno (DTM, *Digital Terrain Model*). In base alle esigenze di elaborazione e alla tipologia di modelli digitali da ottenere è possibile creare più classi. Le procedure di classificazione sono eseguite su macroaree coperte da più sessioni di rilevazione operate dall'aeromobile; si procede quindi all'elaborazione delle singole macroaree con cicli di elaborazione che classificano di volta in volta tipologie di punti differenti.

Come operazione preliminare alla classificazione è necessario processare i file *.sbt* delle traiettorie di volo in modo da eliminare le zone di inversione della direzione di volo; tale operazione permette di ottenere solamente traiettorie di volo rettilinee. A ogni traiettoria rettilinea viene poi assegnato un numero identificativo progressivo; in seguito è poi possibile associare a ogni punto rilevato a terra la relativa traiettoria e tempo di rilevazione esatto.

I dati grezzi di partenza non possiedono una classificazione significativa pertanto vengono riclassificati in una singola classe e in seguito è possibile procedere all'esecuzione dei primi controlli sulla qualità dei dati rilevati. In una prima fase viene verificato l'allineamento tra strisciate adiacenti in modo da garantire la complanarità del modello digitale dell'elevazione nelle zone di contatto tra due strisciate. A tal fine si eseguono delle sottili sezioni nelle zone di sovrapposizione tra strisciate (zone di *overlap*) e, attraverso la ricerca di zone piane mediante l'ausilio di ortofoto, si verifica la complanarità tra strisciate adiacenti. Nel caso in cui siano accertate situazioni di non complanarità tra strisciate, sia di tipo sistematico (una striscia presenta per tutta la sua lunghezza una quota sistematicamente superiore a quella delle strisciate adiacenti, di un fattore più o meno costante) che locale (una striscia presenta solo in alcune zone aree di non complanarità) è necessario procedere al loro riallineamento pena l'ottenimento di modelli digitali non corrispondenti alla reale morfologia del territorio. Le procedure di riallineamento sfruttano algoritmi che ricercano, nelle zone di sovrapposizione tra strisciate, superfici lineari (tetti di abitazioni e capannoni, strade, parcheggi) e calcolano un fattore di correzione proporzionale alle differenze di quota tra piani appartenenti a diverse strisciate; tale fattore correttivo viene poi applicato alle strisciate disallineate permettendone il riallineamento delle stesse, ripristinando la continuità altimetrica in corrispondenza della zona di transizione tra diverse strisciate a garanzia della buona qualità altimetrica del prodotto finale.



1. Confronto tra modello digitale del terreno affetto da disallineamento tra strisciate adiacenti e relativo disallineamento dei punti di diverse strisciate (immagini a sinistra) e modello digitale del terreno ottenuto da strisciate correttamente allineate e relativi punti *LiDAR* allineati (immagini a destra)

2. Eliminazione delle porzioni più estreme di una striscia acquisita con ALS mediante imposizione di un angolo massimo di rilevazione

3. Procedura automatica di classificazione dei punti *LiDAR* che descrivono il terreno. Dai punti indifferenziati (immagine sopra, punti di colore bianco) vengono isolati i punti che descrivono il terreno (immagine sotto, punti di colore arancio)

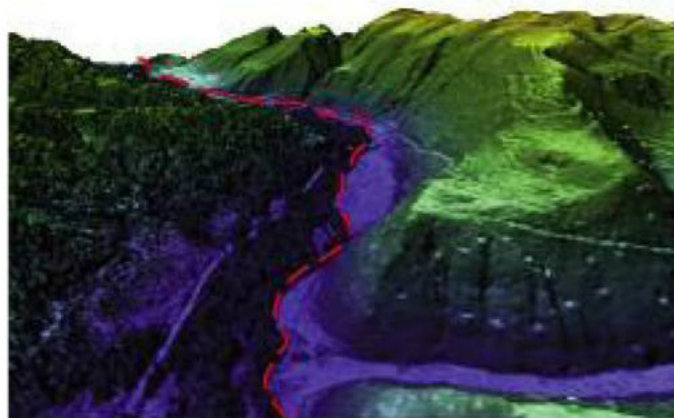
In seguito alle operazioni di controllo della complanarità tra strisciate, e all'eventuale riallineamento, è possibile eliminare la zona di sovrapposizione tra strisciate (zona di *overlap*) per evitare la presenza di zone coperte da più strisciate e aventi quindi densità di punti laser rilevati non omogenea. L'eliminazione dei punti laser di *overlap* viene eseguita eliminando da ogni striscia i punti rilevati ai bordi più esterni, aventi soprattutto minore qualità altimetrica, mantenendo nel set di dati solamente i punti ricadenti all'interno di un angolo α predefinito. Al termine della procedura di eliminazione dei punti di *overlap* si ottiene un set di dati a densità omogenea: per ottenere modelli digitali dell'elevazione con risoluzione di 1 metro si utilizzano rilievi *LiDAR* con densità variabile tra 1 e 2 punti/m² durante la fase di rilievo. Prima di procedere alla classificazione dei punti appartenenti al terreno e alle superfici sovrastanti, è necessario eliminare dalle nuvole di punti *LiDAR* i falsi echi, ossia punti rilevati dal sensore *laser* che non forniscono di fatto informazioni utili alla creazione di modelli dell'elevazione del terreno o della superficie.

La natura di questi punti deriva dall'interposizione tra il sensore ubicato su aeromobile e gli oggetti da rilevare a terra di entità quali nuvole molto dense, volatili o altri aeromobili che intercettano il segnale laser. Con procedure automatizzate, e con una piccola componente di editing manuale che permette di eseguire un controllo sulla bontà della classificazione automatica, è possibile isolare dal set di dati i falsi echi classificandoli in una classe apposita e predisponendo i dati alla successiva classificazione dei punti appartenenti al terreno. Tale operazione avviene tramite l'uso di algoritmi iterativi modulabili che permettono di classificare la maggior parte dei punti appartenenti al terreno in modo automatico: grazie ad alcuni strumenti software, che attraverso parametri inseriti in modalità manuale e che variano in relazione alla morfologia del terreno e alla dimensione media degli edifici presenti sul terreno rilevato, la maggior parte dei punti laser descriventi il terreno vengono isolati nella classe *Ground*. Successivamente è comunque necessario procedere a una fase di *editing* manuale che, tramite interventi puntuali, affina la classificazione già presente classificando manualmente punti laser in aree in cui il modello digitale del terreno non denota una buona congruenza con la reale morfologia del terreno.

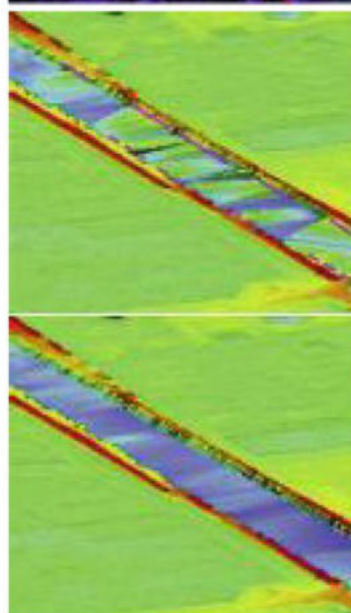
Le tipologie di interventi di *editing* sono molteplici e per lo più dovute principalmente all'impossibilità di descrivere, con parametri morfologici univoci, grandi aree. I più comuni interventi di *editing* riguardano l'esclusione dalla classe *Ground* di punti appartenenti alla vegetazione, a edifici o a ponti e viadotti che la classificazione automatica, procedendo in modo iterativo, ha erroneamente classificato come punti appartenenti al terreno. Queste operazioni, oltre ad affinare il modello dell'elevazione finale, sono dettate anche da motivazioni di rilevanza idraulica in quanto l'eliminazione di ponti e viadotti che attraversano le sedi fluviali permette di ottenere dei *DTM* di ottima qualità utilizzabili per la modellazione idraulica mono e bidimensionale.

Grazie all'informazione sull'eco, univoca per ogni punto laser rilevato, è possibile ottenere anche i modelli digitali della superficie (*DSM*, *Digital Surface Model*) che comprendono, oltre al nudo terreno, anche vegetazione, edifici, insediamenti antropici, linee elettriche; la capacità da parte dei sensori *laser scanner* di rilevare proprio queste ultime denota le potenzialità dello strumento.

Utilizzando la quota altimetrica dei punti laser rispetto ai punti già classificati come appartenenti al terreno è possibile classificare in modo automatico la vegetazione in base all'altezza dal terreno ottenendo un modello dell'elevazione delle chiome (*DCM*, *Digital Canopy Model*). Utilizzando invece algoritmi modulabili in base alla dimensione minima degli edifici presenti, in aggiunta all'informazione sull'eco dei singoli punti, è possibile isolare in un'apposita classe i punti che descrivono gli edifici, anche se coperti da strati di vegetazione arborea, partendo da dati in cui è stata in precedenza eseguita solamente la classificazione del terreno. Il modello digitale ottenuto da questa tipologia di classificazione può essere identificato come *DBM* (*Digital Building Model*); un suo importante impiego lo si può identificare nel campo delle



4. Differenza tra un modello digitale del terreno (*DTM*) e un modello digitale della superficie (*DSM*) in una stessa area



5. Introduzione di *breaklines* (segmenti di colore viola nell'immagine superiore) in un *DTM* affetto da imprecisioni locali per l'ottenimento di un *DTM* idraulicamente corretto (sotto)

simulazioni idrauliche in quanto la combinazione dello stesso con il *DTM* porta alla creazione di un modello composito *DTM* + *DBM*.

Grazie all'integrazione delle strutture morfologiche del terreno e alle strutture antropiche, tale prodotto fornisce un modello digitale contenente le principali strutture che forniscono una resistenza al moto dei corsi d'acqua.

Talvolta la presenza di folta vegetazione o di particolari condizioni locali può concorrere ad una definizione non idonea di alcuni elementi a terra e ciò può influire negativamente sulle eventuali elaborazioni successive, di carattere idraulico o di diverso scopo. Per aumentare la qualità delle elaborazioni è possibile intervenire in modo puntuale sui modelli digitali in modo da perfezionare la loro corrispondenza alla realtà a terra introducendo delle *breaklines* (*BL*), ossia degli elementi vettoriali (segmenti, polilinee, ellissi) attraverso i quali forzare la produzione del modello digitale. Tali elementi vengono digitalizzati direttamente sul *DTM* o sul modello composito *DTM*+*DBM* ma vengono adagiati sui punti *LiDAR* al fine di garantirne l'affidabilità altimetrica. L'uso di tali accorgimenti permette di definire, in maniera molto più accurata e dettagliata, interventi di assestamento dei versanti, linee di base e di sommità delle sponde, opere idrauliche e di contenimento, edifici, arginature, terrapieni e infrastrutture artificiali di varia natura. L'operazione di digitalizzazione richiede un intervento di editing manuale i cui elementi di soggettività vengono comunque ridotti al minimo adottando una procedura algoritmica e identificando quali tipologie di strutture morfologiche ridefinire mediante l'utilizzo di *breaklines*. Solo in seguito alla digitalizzazione delle *breaklines* è possibile effettuare l'inclusione all'interno del modello digitale dell'elevazione finale, reso così, ad esempio, idraulicamente corretto e maggiormente indicato per l'uso a scopi idraulici. •

Il Piano Straordinario di Telerilevamento

Salvatore Costabile

Il Ministero dell'Ambiente è riuscito a coprire con rilievi LiDAR 131.118 km² di territorio italiano tra coste, bacini idrografici e aree critiche.

Attraverso il Geoportale Nazionale, si è arrivati in questo modo a mettere a disposizione di utenti pubblici, privati o altri Enti, dati topografici a elevata risoluzione riguardanti ben il 43,44% del territorio nazionale.

Il Geoportale Nazionale, paragonabile ad una Biblioteca Nazionale Centrale, mette a libera disposizione una base cartografica di riferimento, corredata da un dettagliato set di informazioni (metadati) indispensabili per la ricerca, la comprensione e il confronto dei dati descritti

Parole chiave

LiDAR, laser scanner, Geoportale Nazionale, interferometria SAR



Elaborazione con tecnica Permanent Scatterers Interferometry (PSI) di immagini ENVISAT, relative al periodo 2003-2010. Viene visualizzata la velocità media dello spostamento superficiale del terreno avvenuto durante il periodo di riferimento, espressa in mm/anno

Il Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A), ai sensi della legge 179 del 31 luglio 2002 art. 27, è un Accordo di Programma tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e Ministero della Difesa (MD) d'intesa con le Regioni e le Province Autonome, divenuto poi Piano Ordinario di Telerilevamento con la Legge 244 del 24 Dicembre 2007 articolo 2, comma 327.

Obiettivo del Piano Straordinario di Telerilevamento è realizzare una banca dati, ad altissima risoluzione, che possa approfondire la conoscenza del territorio italiano, utilizzando alcune tra le tecnologie più evolute che le piattaforme satellitari e su aeromobili rendono attualmente disponibili, e favorire inoltre una condivisione dei dati territoriali tra i vari comparti della Pubblica Amministrazione.

In particolare, il progetto prevede l'acquisizione e il recupero, da parte del Ministero, di dati acquisiti con tecnica Laser-scanning LiDAR (da piattaforma aerea) e con tecnica interferometrica (da piattaforma satellitare). I dati acquisiti sono catalogati nella banca dati del Geoportale Nazionale (GN) che costituisce il sistema informativo geografico per eccellenza del Ministero dell'Ambiente (www.pcn.minambiente.it).

I dati LiDAR forniscono informazioni di estremo dettaglio sulla morfologia del terreno risultando quindi di grande utilità per gli studi di analisi del rischio idrogeologico, per le attività di modellazione idraulica, per la pianificazione e la modellazione urbana.

Grazie al PST-A, ad Aprile del 2012 il Ministero dell'Ambiente è riuscito a coprire con rilievi LiDAR 131.118 km² di territorio italiano tra coste, bacini idrografici ed aree critiche. Attraverso il Geoportale Nazionale, si è arrivati in questo modo a mettere a disposizione di utenti pubblici, privati o altri Enti, dati topografici ad elevata risoluzione riguardanti ben il 43,44% del territorio nazionale.

I dati interferometrici SAR consentono di mappare efficacemente spostamenti superficiali del terreno legati a fenomeni franosi e di subsidenza.

Il Ministero dell'Ambiente ha acquisito dati interferometrici per l'intero territorio italiano. Tale banca dati comprende immagini satellitari ERS 1-2 relative al periodo 1991-2000 e immagini satellitari ENVISAT relative al periodo 2003-2010. Inoltre, nel periodo 2009-2011 sono stati acquisiti dati interferometrici ad elevata risoluzione (Cosmo Sky Med) per 3 aree critiche specifiche, quali Venezia, Bologna e Palermo, in vista di un'espansione del progetto su scala nazionale.



Il Geoportale mette inoltre a disposizione elaborazioni PSI per l'intero dataset interferometrico in suo possesso. L'impiego della tecnica Permanent Scatterers Interferometry (PSI) consente il calcolo puntuale e preciso della velocità degli spostamenti lenti del terreno, permettendo quindi un monitoraggio di maggior dettaglio di fenomeni geofisici quali, ad esempio, subsidenza, frane e faglie sismiche, oltre alla verifica della stabilità di costruzioni e palazzi.

Numerose altre informazioni cartografiche, geologiche e ambientali sono messe a disposizione del pubblico attraverso il Geoportale Nazionale. Queste vanno dalle ortofoto a scala nazionale alle carte geologiche e topografiche, dalla mappatura della pericolosità e rischio idrogeologico alla mappatura delle aree protette e dell'uso del suolo, a molti altri dati geografici ancillari dell'intero territorio italiano.

Il Geoportale Nazionale, paragonabile ad una Biblioteca Nazionale Centrale, mette a libera disposizione una base cartografica di riferimento, corredata da un dettagliato set di informazioni (metadati) indispensabili per la ricerca, la comprensione e il confronto dei dati descritti. I metadati seguono il Regola-

mento (CE) N. 1205/2008 recante attuazione della direttiva 2007/2/CE (INSPIRE).

Il Ministero dell'Ambiente, attraverso il Geoportale Nazionale e in collaborazione con le varie Amministrazioni competenti, ha così realizzato un'infrastruttura di dati geografici articolata in un network di nodi periferici costituiti dalle Pubbliche Amministrazioni centrali e locali cooperanti e dialoganti tra loro. La fruibilità di tutte le informazioni a livello centrale è garantita dal catalogo dei metadati del GN e dal fatto che le informazioni sono mantenute a livello dei nodi periferici: ciò garantisce l'aggiornamento continuo di dati e metadati.

L'interoperabilità tra i nodi è garantita dall'utilizzo di standard internazionali applicati ai servizi web per la condivisione delle informazioni: WMS, WFS, WCS.

In un paese che presenta significativi fenomeni di dissesto idrogeologico, la banca dati finora realizzata grazie al Piano Ordinario di Telerilevamento e al Geoportale Nazionale, può agevolare i tecnici di settore nella programmazione di interventi di difesa del suolo e di manutenzione del reticolo idrografico ai fini della mitigazione del rischio idrogeologico. •

Elaborazioni PAI

Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico
**Verifica della congruità geometrica, topologica
 e morfologica delle perimetrazioni
 della pericolosità idraulica**

**Sergio Fattorelli
 Federico Cazorzi
 Giancarlo Dalla Fontana
 Alberto De Luca
 Antonio Checchinato
 Agostino Avanzi**

Aumentando la precisione dei modelli digitali del terreno con interventi di editing puntuale e utilizzando un modello digitale degli edifici è possibile simulare l'allagamento di sezioni fluviali per verificare la correttezza geometrica, topologica e morfologica delle perimetrazioni della pericolosità idraulica contenute nei Piani di Assetto Idrogeologico

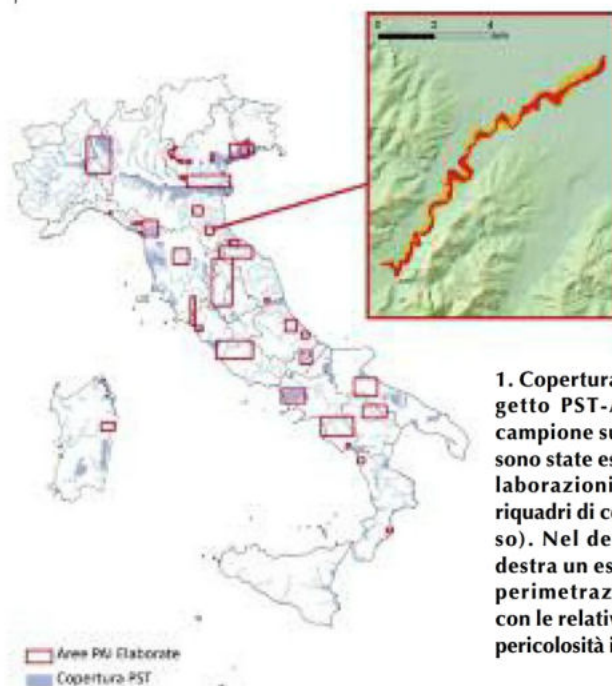
Utilizzando i modelli digitali dell'elevazione compositi DTM+DBM, perfezionati con l'introduzione di breaklines, è stato possibile verificare la congruenza geometrica, topologica e morfologica della delimitazione delle aree di pericolosità idraulica contenute nei PAI di alcuni corsi d'acqua campione distribuiti sul territorio italiano. La raccolta degli strati vettoriali contenenti le perimetrazioni PAI è stata condotta dalla Direzione Generale Difesa del Suolo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare mentre BETA Studio Srl e Geomatica e Ambiente Srl si sono dedicate alla selezione delle aste fluviali oggetto di elaborazione e delle successive operazioni di verifica della congruenza delle delimitazioni alla morfologia del terreno. La selezione dei corsi d'acqua campione oggetto d'indagine è stata eseguita in base alla loro variabilità morfologica sia nell'ambito del singolo corso d'acqua, dalla fonte alla foce, che nel complesso dei corsi d'acqua selezionati in base alla presenza di eventuali forme morfologiche fluviali caratteristiche (corsi d'acqua pensili, fumare, presenza di anse e meandri) e, soprattutto, laddove è presente copertura di dato LiDAR in ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A) condotto dallo stesso Ministero

Bibliografia

F. Cazorzi, A. De Luca, A. Checchinato, F. Segna, e G. Dalla Fontana, A LiDAR based analysis of hydraulic hazard mapping», *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 14 EGU2012-3184, EGU General Assembly 2012.

Parole chiave

pericolosità idraulica, allagamento, DTM, DBM, breaklines, PAI



1. Copertura del progetto PST-A e aree campione sulle quali sono state eseguite elaborazioni PAI (nei riquadri di colore rosso). Nel dettaglio a destra un esempio di perimetrazione PAI con le relative aree di pericolosità idraulica

Processo di elaborazione

Generalmente le aree di pericolosità idraulica contenute nelle perimetrazioni PAI sono codificate con codici alfanumerici che identificano pericolosità decrescenti allontanandosi dall'asta fluviale verso le circostanti aree di pertinenza fluviale.

A partire dalle nuvole di punti LiDAR è stata eseguita una classificazione dei punti appartenenti al terreno e agli edifici, in modo da ottenere un modello digitale composito DTM+DBM che fornisca una buona definizione di strutture naturali e antropiche (edifici, centri urbani, opere idrauliche) in grado di generare resistenza al moto dei corpi idrici. Tali strutture sono state definite in modo più accurato grazie alla digitalizzazione di breaklines (la cui qualità altimetrica è garantita dalle nuvole di punti LiDAR) che hanno permesso di ottenere un modello composito corretto DTM+DBM+BL.

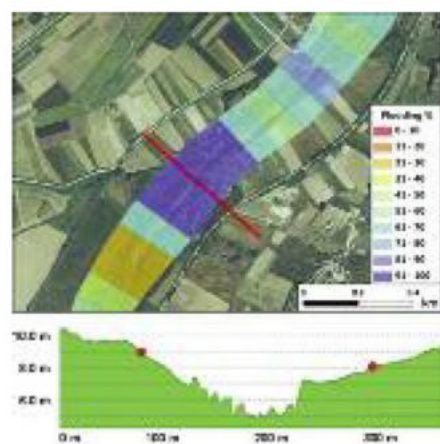
La procedura di verifica geometrica e topologica delle aree di pericolosità idraulica definite nei PAI prevede due fasi principali: in una prima fase la perimetrazione PAI viene suddivisa in segmenti e tronchi fluviali sui quali vengono definiti i modelli digitali DTM+DBM+BL, che vengono poi allagati fino al raggiungimento delle quote minime in corrispondenza delle perimetrazioni nella seconda fase. La creazione dei segmenti fluviali permette di suddividere la perimetrazione dell'intera asta fluviale in porzioni di lunghezza approssimativa di venti chilometri, questo per agevolare le elaborazioni in caso di aste particolarmente lunghe e complesse; tale operazione assicura il corretto trattamento delle singole unità morfometriche degli alvei.



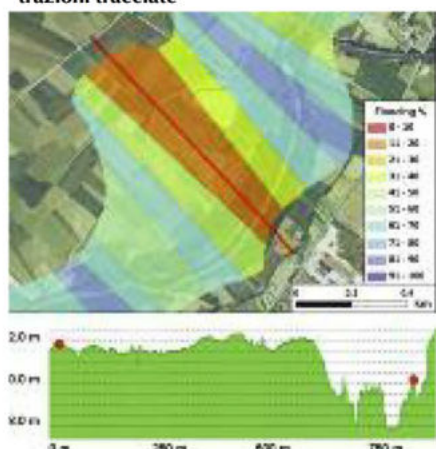
2. Integrazione del modello digitale del terreno (DTM, a sinistra) al modello digitale degli edifici (DBM, al centro) e successiva introduzione delle breaklines per l'ottenimento di un DEM composito DTM+DBM+BL (a destra)



3. Creazione degli strati vettoriali di delimitazioni, centerline e tronchi fluviali



5. Esempio di perimetrazione della pericolosità idraulica correttamente tracciata e verificata, con valori percentuali di allagamento alti (91%, 100% dell'area allagata rispetto all'area totale allagabile). Nella sezione in basso si nota la correttezza altimetrica delle perimetrazioni tracciate



6. Esempio di perimetrazione della pericolosità idraulica non correttamente verificata, con valori percentuali di allagamento alti (11%, 20% dell'area allagata rispetto all'area totale allagabile). Nella sezione in basso si nota l'incongruenza altimetrica tra le perimetrazioni tracciate e l'andamento altimetrico del terreno



4. Processo di allagamento progressivo di un singolo tronco fino al raggiungimento della quota minima delle delimitazioni

Nella fase successiva viene digitalizzata manualmente una *centerline* che con buona approssimazione segue l'andamento del *thalweg*. I tronchi a loro volta vengono ricavati a partire dalla perimetrazione del PAI e sono identificabili come poligoni collocati trasversalmente al *thalweg*, confinati lateralmente dalle delimitazioni ricavate dal PAI e longitudinalmente dai tronchi adiacenti. All'interno di ogni tronco, inoltre, viene considerata costante la quota piezometrica, motivo per il quale si sono assunti tronchi aventi modesta lunghezza.

Nella seconda fase dal modello *DTM+DBM+BL* si identificano la quota minima Q1, in corrispondenza del punto più basso del *thalweg*, e la quota minima Q2 in corrispondenza delle delimitazioni PAI. L'allagamento delle porzioni di *DTM+DBM+BL*, ricavate dai tronchi, avviene simulando la crescita progressiva del tirante idrico tra le due quote Q1 e Q2 con lame d'acqua di altezza costante e piezometrica orizzontale; è quindi possibile ottenere la curva di area allagata e la curva di invaso, ovvero le relazioni che legano il tirante rispettivamente alla superficie coperta d'acqua e al volume invasato nel tronco, relazioni ottenute esclusivamente per via geometrica sulla base del modello *DTM+DBM+BL*.

Il processo di allagamento procede dal *thalweg* in direzione delle aree di pertinenza fluviale circostanti l'alveo e, in presenza di più aree di pericolosità, dalle aree a maggiore pericolosità verso quelle a pericolosità minore; in ogni caso la procedura si arresta al raggiungimento della quota Q2.

La superficie massima allagata viene confrontata con la corrispondente superficie allagabile all'interno della delimitazione definendo così un indice di allagamento del tronco per ciascuna delle zone a diversa pericolosità, quando presenti. I risultati finali della procedura di allagamento consistono in una mappa che mostra, per l'intera asta fluviale analizzata, le percentuali di allagamento di tutti i singoli tronchi analizzati: alti valori di allagamento verificano l'aderenza della perimetrazione della pericolosità idraulica alla reale morfologia del terreno mentre, valori di allagamento bassi, indicano la presenza di discrepanze tra la perimetrazione e la reale morfologia del terreno.

Nel caso di tronchi fluviali in cui il processamento dei dati restituisce alti valori di allagamento, il confronto tra le perimetrazioni e la relativa sezione trasversale, eseguita sul *DTM+DBM+BL*, evidenzia la congruenza altimetrica reciproca grazie alla buona sovrapposizione tra i limiti tracciati nel PAI e le naturali delimitazioni morfologiche dell'alveo fluviale; situazione questa che permette di allagare i tronchi in oggetto con volumi d'acqua idonei alla superficie perimetrata.

Al contrario, nel caso in cui la superficie allagabile reale risulti molto bassa è possibile, confrontando le delimitazioni tracciate nei PAI con le sezioni trasversali ricavate dal *DTM+DBM+BL*, identificare le discrepanze dovute generalmente a perimetrazioni PAI tracciate in aree non realmente allagabili.

Questo metodo di indagine si rivela come un efficiente e rapido strumento per una speditiva verifica della bontà del tracciamento delle perimetrazioni della pericolosità idraulica, evidenziando, di fatto, eventuali zone di criticità. La possibilità di verificare perimetrazioni PAI di intere aste fluviali mediante l'impiego del supporto di dati *LiDAR* permette di eseguire elaborazioni a larga scala in tempi ridotti, mantenendo comunque una buona analisi dei dettagli morfologici fluviali grazie alla suddivisione in segmenti fluviali e tronchi di dimensioni contenute.

Il supporto dei dati *LiDAR* potrebbe inoltre essere impiegato come strumento per le analisi idrauliche per la digitalizzazione di nuove perimetrazioni, idraulicamente corrette, grazie alla maggiore accuratezza altimetrica e topografica rispetto ad altre tipologie di strumentazioni. •